

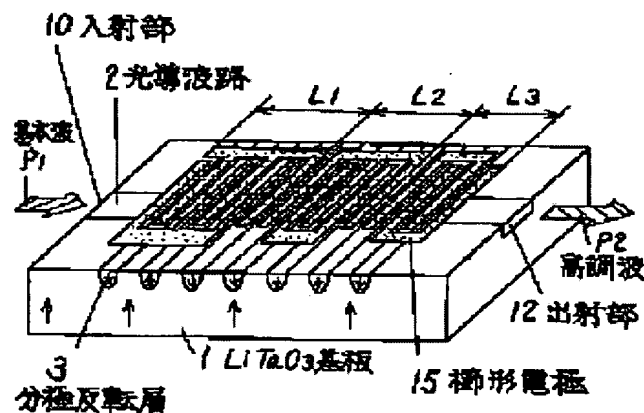
# OPTICAL WAVELENGTH CONVERSION ELEMENT AND SHORT WAVELENGTH LASER BEAM SOURCE

**Patent number:** JP6102553  
**Publication date:** 1994-04-15  
**Inventor:** MIZUUCHI KIMINORI; YAMAMOTO KAZUHISA;  
TAKENAGA MUTSUO  
**Applicant:** MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD  
**Classification:**  
- **International:** G02F1/37; H01S3/10; H01S3/107; H01S3/109;  
G02F1/35; H01S3/10; H01S3/106; H01S3/109; (IPC1-  
7): G02F1/37; H01S3/10; H01S3/107; H01S3/109;  
H01S3/18  
- **European:**  
**Application number:** JP19920252589 19920922  
**Priority number(s):** JP19920252589 19920922

[Report a data error here](#)

## Abstract of JP6102553

**PURPOSE:** To stably output and modulate the higher harmonic waves emitted from the optical wavelength conversion element constituted by using a nonlinear optical effect.  
**CONSTITUTION:** Electrodes 15 are formed on an optical waveguide 2 of the optical wavelength conversion element constituted by forming polarization inversion layers 3 and the optical waveguide 2 on an LiTaO<sub>3</sub> substrate 1. The output light of an SHG (second harmonic wave generating element) is stabilized by impressing the electric field by the electrodes 15 to the above-mentioned optical wavelength conversion element. The output of the SHG is modulated to multiple stages by dividing the electrodes and controlling the respective voltages. Then the stable operation is executed by changing the voltage to be impressed to the optical wavelength conversion element even if the environmental temp. changes and the wavelength of a semiconductor laser changes. The phase matching states under the respective electrodes are controlled by dividing the electrodes and, therefore, the high-speed modulation of the output in multiple stages is possible. In addition, the integration of the modulating mechanisms on the optical wavelength conversion element is possible and, therefore, the small-sized light source is constituted.



Data supplied from the [esp@cenet](#) database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-102553

(43) 公開日 平成6年(1994)4月15日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/37		8106-2K		
H 0 1 S 3/10	A	8934-4M		
3/107		8934-4M		
3/109		8934-4M		
3/18				

審査請求 未請求 請求項の数9(全10頁)

(21) 出願番号 特願平4-252589

(22) 出願日 平成4年(1992)9月22日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 水内 公典

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 山本 和久

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 竹永 睦生

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 小鍛冶 明 (外2名)

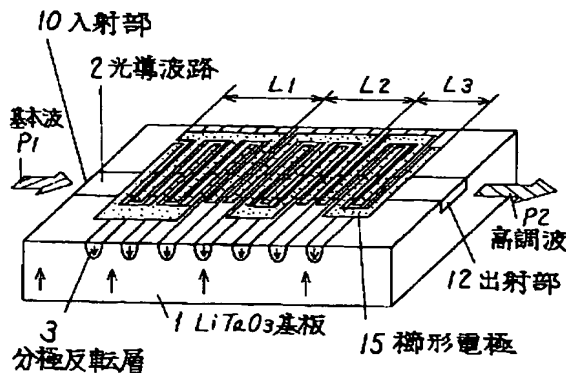
(54) 【発明の名称】 光波長変換素子および短波長レーザ光源

(57) 【要約】

【目的】 非線形光学効果を用いた光波長変換素子に関するもので光波長変換素子より出射される高調波を安定に出力変調する。

【構成】  $\text{LiTaO}_3$  基板1に分極反転層3と光導波路2を形成した光波長変換素子の光導波路2上に電極15を形成する。上述の光波長変換素子に電極15により電界を印可することでSHG出力光の安定化を図り、かつ電極を分割してそれぞれの電圧を制御することによりSHG出力を多段階に変調することができる。

【効果】 環境温度が変化し半導体レーザの波長が変わっても、光波長変換素子への印可電圧を変えることで安定な動作が行える。また、電極を分割することにより、各電極下の位相整合状態を制御できるため、出力を多段階に高速変調できる。しかも、変調機構を光波長変換素子上に集積化できるため、小型の光源が構成できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】光導波路と分極反転層と入射部と出射部とを有する非線形物質からなる基板と前記基板上に形成した $n$ 個( $n \geq 2$ )の電極とを有し、前記電極が前記光導波路の伝搬方向に並んでいることを特徴とする光波長変換素子。

【請求項2】光導波路と分極反転層と入射部と出射部とを有する非線形物質からなる基板と前記基板上に形成した $n$ 個( $n \geq 2$ )の薄膜ヒータとを有し、前記薄膜ヒータが前記光導波路の伝搬方向に並んでいることを特徴とする光波長変換素子。

【請求項3】電極の長さが入射部近傍から順に $L_0$ 、 $L_0(2^{1/2} - 1^{1/2})$ 、 $L_0(3^{1/2} - 2^{1/2})$ 、 $\dots$ 、 $L_0(n^{1/2} - (n-1)^{1/2})$ の関係を満足していることを特徴とする請求項1の光波長変換素子。

【請求項4】前記薄膜ヒータの長さが入射部近傍から順に $L_0$ 、 $L_0(2^{1/2} - 1^{1/2})$ 、 $L_0(3^{1/2} - 2^{1/2})$ 、 $\dots$ 、 $L_0(n^{1/2} - (n-1)^{1/2})$ の関係を満足していることを特徴とする請求項2の光波長変換素子。

【請求項5】請求項1または2記載の光波長変換素子と半導体レーザとを備えたことを特徴とする短波長レーザ光源。

【請求項6】非線形物質からなる基板が $\text{LiNbO}_3$  ( $0 \leq X \leq 1$ ) 基板である請求項1または2記載の光波長変換素子。

【請求項7】電極が楕円電極であることを特徴とする請求項1の光波長変換素子。

【請求項8】電極が平行電極であり、前記電極下の分極反転層の周期 $\Lambda$ と分極反転層反転層の幅 $W$ が $W \neq \Lambda/2$ であることを特徴とする請求項1記載の光波長変換素子。

【請求項9】電極が平行電極であり、前記電極下の分極反転層の深さ $D_a$ と前記光導波路の深さ $D_w$ が $D_w > D_a$ であることを特徴とする請求項1記載の光波長変換素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、コヒーレント光を利用する光情報処理分野、あるいは光応用計測制御分野に使用する光波長変換素子および短波長レーザ光源に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】強誘電体の分極を強制的に反転させる分極反転は、強誘電体に周期的な分極反転層を形成することにより、表面弾性波を利用した光周波数変調器や、非線形分極の分極反転を利用した光波長変換素子などに利用される。特に非線形光学物質の非線形分極を周期的に反転することが可能になれば、非常に変換効率の高い第二高調波発生素子（以下SHG素子とする）を作製することができる。これによって半導体レーザなどの光を変換すると、小型の短波長光源が実現でき、印刷、光情報

処理、光応用計測制御分野などに応用できるため盛んに研究が行われている。分極反転型のSHG素子は高効率の波長変換が可能であり、かつ周期構造を変えることにより、任意の波長変換が行える。しかしながら、周期構造を基本としているため、波長依存性が高く基本光の波長変動に対する出力変動が非常に大きかった。

【0003】これを示す例として例えば、光波長変換素子として擬位相整合（以下、QPMと記す。）方式の分極反転光導波路を用いた半導体レーザの波長変換の報告がある。（山本他、オプティクス・レターズ Optics Letters Vol.16, No.15, 1156(1991)）。図12に、半導体レーザとQPM光波長変換素子を用いた短波長光源の概略構成図を示す。半導体レーザ101から放射された光は、コリメートレンズ102により平行ビームに変換され、 $\lambda/2$ 板103で偏向方向を回転させ、N.A.=0.6のフォーカシングレンズ104により光導波路の入射端面5に集光される。そして波長変換されたブルー光が得られる。半導体レーザへの戻り光を避けるため入射端面105には無反射コートが施してあるが、端面105から約1%の戻り光が生じる。この結果、半導体レーザの光導波路内への入射光強度35mWに対し1.1mWのブルー光を得た。非線形光学効果を利用しているため、出力光は入力光強度の2乗に比例した。しかし、QPM光波長変換素子は波長許容度が0.2nmしかなかった。

【0004】一方、短波長レーザ光源として、光ディスク、レーザプリンタ等に応用するには、光源の出力強度を変調する必要がある。特に、光ディスクへの記録を行うには数100MHzでの出力強度の変調が必要不可欠である。従来、短波長レーザ光源の出力強度の変調は、基本波の半導体レーザの出力の変調によりSHG出力変調を行っていた。

【0005】また、その他の光の強度を変調する方法としては、表面弾性波を利用したA0変調器がある。これを用いて、光波長変換素子から出力された光の強度を変調することができる。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】従来の光波長変換素子においては、素子内に出力光強度を変調する機構がなかったため、出力光強度の変調は基本波の半導体レーザの強度変調で行っていた。基本波の半導体レーザの出力を変調するには、半導体レーザの駆動電流を変調することにより行っていたが、出力を変調すると、出力波長の変動が同時に発生し、出力波長が1nm以上大きく変動していた。

【0007】ところが、SHGの変換効率は基本波の波長依存性が大きく、基本波の波長が数オングストローム変化すると、変換効率が50%以上変化していた。そのため、波長変動にともなう、SHG光の出力変動が発生し、安定した強度変調が難しいという問題があった。

【0008】また、SHG出力は入力光強度の2乗に比

例するため、出力光強度を数段階に直線的に変調するためには、入力光強度を複雑に調整する必要があるという問題があった。

【0009】またA0変調器を用いて光波長変換素子からの出力変調を行おうとすると、A0変調器を介して出力を出すため、出力が減少する。コストが高くなる。モジュールが複雑になり、光源の小型化が困難になるなどの問題があった。

【0010】そこで本発明は、高調波を安定に変調する光波長変換素子および短波長レーザ光源を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記問題点を解決するため分極反転構造を基本とした光波長変換素子に新たな工夫を加えることにより出力の強度を安定に保ったまま、多段階に変調可能な光波長変換素子を提供するものである。

【0012】つまり、本発明は光導波路と分極反転層と入射部と出射部とを有する非線形物質からなる基板と前記基板上に形成した $n$ 個( $n \geq 2$ )の電極とを有し、なおかつ前記電極が前記光導波路の伝搬方向に並んでいる光波長変換素子である。

【0013】また光導波路と分極反転層と入射部と出射部とを有する非線形物質からなる基板と前記基板上に形成した $n$ 個( $n \geq 2$ )の薄膜ヒータとを有し、なおかつ前記薄膜ヒータが前記光導波路の伝搬方向に並んでいる光波長変換素子である。

【0014】

【作用】本発明の光波長変換素子は導波路の伝搬方向に形成した電極により分極反転層における位相整合条件を制御することによりSHG出力を制御し、半導体レーザの波長が変化しても位相整合状態を変化させることで常に最高の高調波出力が得られるため、非常に安定な出力が得られる。また、複数の電極により、それぞれの電極下における位相整合状態を制御できるため、SHG出力強度を多段階変調することができ、出力強度変調可能な光波長変換素子を構成できる。なおかつ、出力変調部を光波長変換素子上に集積化できるため小型の素子を構成できる。

【0015】

【実施例】実施例の一つとして本発明の光波長変換素子の構成を図を用いて説明する。

【0016】(実施例1) まず、本発明による光波長変換素子の第1の実施例の構造図を図1に示す。この実施例では分極反転型の光波長変換素子としてLiTaO<sub>3</sub>基板1中にプロトン交換を用いて作製した光導波路2を用いたものである。図1で1は-C板(C軸と垂直に切り出された基板の側)のLiTaO<sub>3</sub>基板、2は形成された光導波路、3は分極反転層、10は基本波P1の入射部、12は高調波P2の出射部、15は光導波路上に形成された

櫛形電極である。

【0017】光波長変換素子製造方法の工程を図2を用いて説明する。

(a) -C板のLiTaO<sub>3</sub>基板1上にスパッタリング法によりTa膜13を30nm形成する。(b) Ta膜13上にフォトリソグロフィ法により周期 $\Lambda$ ごとに幅Wのストライプを10mmに渡って基板のY伝搬方向に形成した後、CF<sub>4</sub>雰囲気中でドライエッチングでTaマスク13にレジストのパターンを転写する。(c) 260℃のピロリン酸中で20分間熱処理しプロトン交換層を形成する。(d) LiTaO<sub>3</sub>基板を高速昇温の加熱炉で加熱する。(e) この基板を410℃で4時間アニール処理して、プロトン交換層を拡散させ、分極反転層と非反転層間の屈折率差を減少させる。

(f) LiTaO<sub>3</sub>基板1上にスパッタリング法によりTa膜を形成する。このTa膜上にレジストを塗布した後、フォトリソグロフィ法により幅4 $\mu$ mの光導波路ストライプを基板のX伝搬方向に形成する、つぎにCF<sub>4</sub>雰囲気中でドライエッチングを行いTaマスク13を形成する。

(g) この基板を230℃のピロリン酸で20分間熱処理し、非マスク部分のLiTaO<sub>3</sub>をプロトン交換処理し、プロトン交換光導波路6を形成する。(h) Taマスクを除去した後、光導波路2に垂直な面を光学研磨し入射部10および出射部12を形成した。作製した素子の分極反転層周期は3.6 $\mu$ m、反転層幅1.8 $\mu$ m、深さ1.8 $\mu$ m、光導波路は幅4 $\mu$ m、深さ1.9 $\mu$ mであった。作製した光波長変換素子上に同様のフォトリソグロフィプロセスによりアルミの櫛形電極を形成した。上記の工程により櫛形電極付きの光波長変換素子が作製できた。

【0018】次に、作製した光波長変換素子の動作原理について説明する。光導波路2に入った基本波P1は周期 $\Lambda$ の分極反転層によって位相整合長 $\Lambda/2$ の長さを持った分極反転層で高調波P2に変換され、次の同じく $\Lambda/2$ の長さを持った非分極反転層で高調波パワーは増すことになる。このようにして光導波路2内でパワーを増した高調波P2は出射部12より放射される。

【0019】今、波長0.86 $\mu$ mの基本波P1に対して分極反転層の周期 $\Lambda$ は約3.6 $\mu$ mとなり、波長変換された波長0.43 $\mu$ mの光P2が得られる。図3はこのとき光導波路の距離とSHG出力の関係を示している。光導波路を伝搬するに従い、分極反転層により基本波から高調波に波長変換され、高調波の強度P2は距離の2乗に比例して増加していく。また出力P2は、入射光強度P1の二乗に比例する。

【0020】次に、電極による出力光強度の制御について説明する。光波長変換素子の断面図を用いて、櫛形電極による光波長変換素子の位相整合状態の変調方法について説明する。図4(a)において1は-C板(C軸と垂直に切り出された基板の側)のLiTaO<sub>3</sub>基板、2は形成された光導波路、3は分極反転層、10は基本波P1

5

の入射部、12は高調波P2の出射部、15は光導波路上に形成された櫛形電極である。分極反転層の周期は $\Lambda$ である。分極反転層の周期に合わせて櫛形電極を形成すると、LiTaO<sub>3</sub>結晶中の電界は図4(b)に示す様に発生する。LiTaO<sub>3</sub>はC軸方向に大きな電気光学定数をもっており、C軸方向に電圧を印可すると、電気光学効果によって屈折率が変化する(図4(b))。分極反転型の光波長変換素子において、波長変換が効率よく行われるには位相整合条件を成立させる必要がある。この条件は $\Lambda = \lambda / 2 (N2\omega - N\omega)$ であり、 $\Lambda$ は分極反転層の周期、 $\lambda$ は基本波の波長、 $N2\omega$ は光導波路内での高調波の実効屈折率、 $N\omega$ は光導波路内での基本波の実効屈折率である。櫛形電極により電界を印可すると、分極反転層、非分極反転層の両方で、分極方向と電界方向の関係が等しくなるため、どちらの部分でも同じ方向に屈折率が変化する。例えば、分極反転層で屈折率が $\Delta n$ 増加すれば、非反転層でも $\Delta n$ 増加する。そのため、全体の屈折率が $\Delta n$ 増加する。光導波路内の屈折率を変化させれば、 $N2\omega - N\omega$ の値が変化するため、位相整合条件を制御することができ、電界により光波長変換素子の交換効率を変調する事ができる。図4(c)は櫛形電極の代わりに平面電極を用いた場合を示す。電界は同方向に印可されている。この場合、分極反転層では屈折率変化が $\Delta n$ ならば、分極方向が異なる非反転層での屈折率変化は $-\Delta n$ となり、図4(d)に示すように、全体の屈折率変化の平均は0となってしまう、電界による屈折率の制御ができず、位相整合状態の制御も不可能となる。

【0021】電気光学効果とは電界を印可することにより、屈折率が変化する現象で、電界の方向と大きさに依存した屈折率変化を起こす。LiTaO<sub>3</sub>電気光学効果の大きな材料で、特にC軸方向の $r_{33}$ という大きな電気光学定数を持っている。これは、C軸方向の電界によりC軸方向の屈折率が変化するもので、電界の方向により屈折率変化 $\Delta n$ も±の値をとる。例えば、+C方向に電界が印可された場合、分極の反転している部分では屈折率変化 $-\Delta n$ は、他の部分では屈折率変化は $+\Delta n$ の値を示す。そこで櫛形電極を用いて、分極反転層部分と、非反転層部分で逆方向の電界を印可すると全体の屈折率が $\Delta n$ 変化させることができる。

6

【0022】櫛形電極に印可する電圧とSHG出力の関係を示したのが図5であり、印可電圧によりSHG出力が変化することがわかる。環境の変化や、基本波の波長変動が発生しても、SHG出力が常に最大になるように印可電圧を調整すれば、安定な光波長変換素子が構成できる。

【0023】次に、この素子による出力光強度の変調を行った。櫛形電極を分割すれば、それぞれの部分で位相整合状態を独立に制御できる。図3に示したように、光導波路の伝搬距離とSHG出力は二乗特性となる。そこで、出力を直線的に変化させるために、電極の長さを、 $L0$ 、 $L0(2^{1/2} - 1^{1/2})$ 、 $L0(3^{1/2} - 2^{1/2})$ とした。図6から分かるように、長さ $L0$ の部分の位相整合条件が成立し、他の部分の位相整合がとれていないときの出力を $P0$ とすると、 $L0$ 、 $L0(2^{1/2} - 1^{1/2})$ の位相整合条件が成立し、他の部分が整合がとれていないときの出力は $2P0$ に、 $L0$ 、 $L0(2^{1/2} - 1^{1/2})$ 、 $L0(3^{1/2} - 2^{1/2})$ の位相整合条件が成立したときの出力 $3P0$ のなり、3段階に直線的にSHG出力を変調することができる。

【0024】実際作製した素子は、素子長20mmで波長に対する許容度は0.8nmであった。半導体レーザの波長変動を光波長変換素子上に作製した櫛形電極の電圧を変化させて補正し高調波が安定に出力されるようにする。半導体レーザの波長変化に対する光波長変換素子の最適電圧との関係を図7に示す。波長が0.3nmずれても電圧を10V変化させるとまた、高調波出力は最大になる。高調波出力の安定度は従来の光波長変換素子に比べ大幅に改善され実用性が増した。半導体レーザは20℃程度変化しても高調波出力は安定に得られた。素子に作製した電極は、入射部から、出射部に向かって長さ $L1=11.5$ mm、 $L2=4.8$ mm、 $L3=3.7$ mmの櫛形電極を形成した。それぞれ電極1、電極2、電極3とする。半導体レーザにより光導波路に40mWの基本波を入力した。電極に電圧10Vを印可したとき電極において位相整合条件が成立した。そこで、それぞれの電極に印可する電圧とSHG出力の関係を測定した。

【0025】

【表1】

電圧 (V)			出力 (mW)
電極1	電極2	電極3	
0	0	0	0
10	0	0	1
10	10	0	2
10	10	10	3

【0026】以上のように、分極反転層に素子の位相整合状態を制御する電極を形成し、かつこれを分割することにより、安定なSHG出力が得られ、またその出力を他段階に強度変調することができた。さらに、作製した素子の、高速変調実験を行った。印可電圧 $\pm 5$  V、変調周波数200 MHzで変調したところ、 $S/N=30$  dB以上と良好な変調特性が得られた。

【0027】作製した素子は導波ロスが0.2 dB/cmと非常に小さいため、電極の長さは導波ロスを考慮せずに作製できた。しかし、導波ロスの大きな素子の場合、素子の電極の長さに導波ロスによる損失を考慮する必要がある。例えば、導波ロスが $a$  dB/cmあるとき、電極の長さは、 $L1=L0 \times 10^E (-10aL0)$ 、 $L2=L0 (2^{1/2} - 1^{1/2}) \times 10^E (-10aL0/2)$ 、 $L3=L0 (3^{1/2} - 2^{1/2}) \times 10^E (-10aL0/3)$ となり、導波ロスより計算した値に電極長を補正する必要がある。

【0028】次に本発明の実施例の他の光波長変換素子の動作原理について説明する。光波長変換素子の位相整合状態を制御する方法は櫛形電極以外の電極構造によっても実現する。ここでは、図8を用いて構造が簡単で作製が容易な平面電極を用いた場合について説明する。図8(a)において、1は-C板(C軸と垂直に切り出された基板の側)のLiTaO<sub>3</sub>基板、2は形成された光導波路、3は分極反転層、16は平面電極である。分極反転層に電界を印可すると、電気光学効果により屈折率が変化する。周期的に分極方向が反転している部分に電極16を作製し、電圧を印可すると $z$ 方向の電界が印可される。電界により分極反転層と非反転層間に屈折率の差が生じ、グレーティングとなる。グレーティングの周期を $\Lambda$ とする。電圧の印可による屈折率変化を $\Delta n$ 、反転層の幅を $W$ 、周期 $\Lambda$ とすると、電極下の平均屈折率変化 $\Delta N = (\Delta n W - \Delta n (\Lambda - W)) / \Lambda$ となり、 $W \neq 0$ 、 $5\Lambda$ のとき印可する電界により変化する屈折率 $\Delta n$ により $\Delta N$ を変化させることができる。その結果、作製が容易な平面電極により、先の実施例と同様に光導波路を伝

搬する基本波と高調波の位相整合条件を制御できる。

【0029】次に、グレーティングを用いた、半導体レーザの波長安定化と、光波長変換素子の出力変調とを組み合わせた実施例について説明する。本実施例の図9に示すようにLiTaO<sub>3</sub>基板1に光導波路2が形成され、さらに光導波路2には周期的に分極の反転した層3(分極反転層)が形成されている。基本波と発生する高調波の伝搬定数の不整合を分極反転層3の周期構造で補償することにより高効率に高調波を出すことができる。光導波路2の入射面に基本波P1を入射すると、光導波路2から高調波P2が効率良く発生され、光波長変換素子として動作する。出射部近傍に作製したブラッグ反射グレーティング18(Distributed Bragg Reflector以下DBRグレーティングとする)により、素子に基本光を入射する半導体レーザの波長を固定していた。半導体レーザの波長が固定されると、光波長変換素子の出力は環境の変化に依存せず非常に安定に動作する。

【0030】DBRは波長選択性を有する反射器で特定波長のみ反射する。DBRグレーティングにより半導体レーザに特定の波長を帰還すると、半導体レーザの波長がDBRの反射波長に固定される。QPMによる位相整合波長とDBRの反射波長を一致させれば、半導体レーザを用いて、安定な波長変換が行える。従来の実施例では、光導波路内に分極反転層を形成し、これをDBRグレーティングとしても用いていた。そのため半導体レーザから出射された光はファイバーを通して光導波路に結合するが、DBRグレーティングによって一部反射され半導体レーザの発振波長を固定することができる。

【0031】なお、本実施例では分極反転層の作製方向を $Y$ 伝搬方向としたが $X$ 伝搬方向でも同様な素子が作製できる。

【0032】なお、本実施例では、基板に-C板を用いたが、他に $x$ 板、 $y$ 板でも電極による電界の方向を $c$ 方向に印可するようにすれば、同様な素子が作製できる。

【0033】なお、本実施例では基板にLiTaO<sub>3</sub>基板を用

いたが他にMgO、Nb、NdなどをドーブしたLiTaO<sub>3</sub>基板でも同様な素子が作製できる。

【0034】なお、本実施例では、イオン交換にピロ磷酸を用いたが、他にオルト磷酸、安息香酸、硫酸、なども用いることができる。

【0035】なお、本実施例では耐イオン化のマスクとして、Ta膜を用いたが、他にTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、Pt、Auなど耐酸性を有する膜なら用いることができる。

【0036】なお、本実施例では光導波路としてプロトン交換導波路を用いたが、他にTi拡散導波路、Nb拡散導波路、イオン注入導波路など他の光導波路も用いることができる。

【0037】(実施例2) ここでは温度による位相整合条件の制御について説明する。

【0038】実施例1で説明した櫛形電極による光波長変換素子の出力光強度の変調の代わりに、薄膜ヒータによる、制御を行った。

【0039】まず、光波長変換素子上に薄膜ヒータを形成する方法を説明する。光波長変換素子は実施例1と同様である。作製した光波長変換素子に、蒸着によりSiO<sub>2</sub>を300nm付加した後、Ni-Cr層を厚み200nm形成した。このNi-Cr層が薄膜ヒーター15となる。

【0040】上記のような工程により薄膜ヒーター15付き光導波路が製造され、図10に示される光波長変換素子が製造できる。この素子の長さは20mmである。図10で基本波P1として半導体レーザ光(波長0.86μm)を入射部10より導波させたところシングルモード伝搬し、波長0.43μmの高調波P2が出射部12より基板外部に取り出された。光導波路2の伝搬損失0.2dB/cmと小さく高調波P2が有効に取り出された。低損失化の原因の1つとして磷酸により均一な光導波路が形成されたことがある。薄膜ヒーター17により加熱を行い光波長変換素子の温度30℃に制御した。基本波40mWの入力で3mWの高調波(波長0.43μm)を得た。この場合の変換効率7.5%である。光波長変換素子の波長に対する許容度は0.8nmである。この半導体レーザの波長変動を光波長変換素子の温度を変化させて補正し高調波が安定に出力されるようにする。半導体レーザの波長変化に対する光波長変換素子の最適温度との関係を図9に示す。波長が0.8nmずれても温度を2℃変化させるとまた、高調波出力は最大になる。高調波出力の安定度は従来の光波長変換素子に比べ大幅に改善され実用性が増した。半導体レーザは20℃程度変化しても高調波出力は安定に得られた。薄膜ヒーターは消費電力が少なく、しかもμs程度の速さで応答が可能なので波長変動に対して追従させるには効果的である。

【0041】次に、実施例1と同様に、薄膜ヒータ分割し、各ヒータにおける位相整合条件を制御した。その結果、実施例1と同様に、出力を3段階に強度変調するこ

とができた。

【0042】なお基本波に対してマルチモード伝搬では高調波の出力が不安定で実用的ではなくシングルモードが有効である。

【0043】次に本発明の短波長レーザ光源の第2の実施例を説明する。図11の短波長レーザ光源の構成図を示す。短波長レーザ光源は基本的には半導体レーザ31と光波長変換素子1により構成される。A1枠30に固定された半導体レーザ31から出射された基本波P1はコリメータレンズ34で平行光にされた後、フォーカスレンズ35で光波長変換素子1の光導波路2に導入され高調波P2へと変換される。また、33は石英板であり断熱のためのものである。ここで光波長変換素子の構成は実施例1と同様である。この実施例ではこの光波長変換素子と半導体レーザを組み合わせて短波長レーザ光源を作製した。出力される高調波出力はビームスプリッタ36により分岐され、Siディテクター27により検出され電気処理によりフィードバックがかかり高調波出力の最大点で電極の電圧が一定に保たれる。この状態で、電極28に印可する電圧を変調することにより、短波長レーザ光源の出力を多段階に変調できる。

【0044】なお実施例では非線形光学結晶としてLiNbO<sub>3</sub>、LiTaO<sub>3</sub>を用いたがKNbO<sub>3</sub>、KTP等の強誘電体、MNA等の有機材料にも適用可能である。

【0045】

【発明の効果】以上説明したように本発明の光波長変換素子によれば、分極反転層を持つ光波長変換素子上に、光導波路の伝搬方向に複数の電極を設けることにより、光波長変換素子の出力を多段階に直線的に変化させることができる。しかも、電極により、光波長変換素子の出力安定化も同時に行えるため、安定な出力も同時に得られる。

【0046】また、本発明の短波長レーザ光源により、短波長でかつ、出力変調の可能な光源が実現でき、かつ出力変調器は素子に集積化されているため、小型の光源が構成できる。その結果、光ディスク、レーザプリンタなどの用途の応用が可能になり、その実用的効果は極めて大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光波長変換素子の第1の実施例の構造図

【図2】本発明の光波長変換素子の光波長変換素子の製造工程図

【図3】分極反転がた光波長変換素子の第二高調波の出力を表す特性図

【図4】(a)は櫛形電極付きの光波長変換素子の断面図

(b)は櫛形電極付きの光波長変換素子における、電界分布、電気光学定数、屈折率変化を表す特性図

(c)は平面電極付きの光波長変換素子の断面図

11

(d) は平面付きの光波長変換素子における、電界分布、電気光学定数、屈折率変化を表す特性図

【図5】印可電界とSHG出力の関係を表す特性図

【図6】光波長変換素子の長さでSHG出力の関係を表す特性図

【図7】印可電圧と位相整合波長の関係を表す特性図

【図8】(a) は平面電極付きの光波長変換素子の断面図

(b) は光波長変換素子における、電界分布、電気光学定数、屈折率変化を表す特性図

【図9】他の実施例の光波長変換素子の構成図

【図10】本発明の他の実施例の光波長変換素子の構成図

【図11】本発明の短波長レーザ光源の構成図

【図12】従来の光波長変換素子の構成図

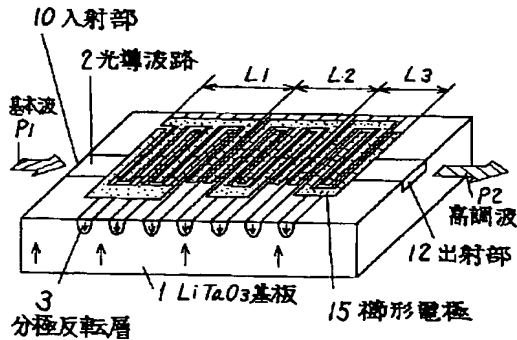
【符号の説明】

- 1 LiNbO<sub>3</sub> 基板
- 2 光導波路
- 3 分極反転層
- 10 入射部
- 12 出射部

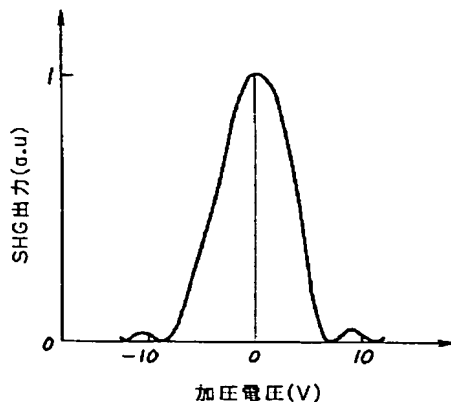
12

- 13 Taマスク
- 14 プロトン交換層
- 15 楕形電極
- 16 平面電極
- 17 薄膜ヒーター
- 18 グレーティング
- P1 基本波
- P2 高調波
- 27 Siディテクター
- 28 電極
- 30 Al 枠
- 31 半導体レーザ
- 33 石英板
- 34 コリメータレンズ
- 35 フォーカスレンズ
- 36 ビームスプリッタ
- 101 半導体レーザ
- 102 コリメータレンズ
- 103  $\lambda/2$ 板
- 104 フォーカスレンズ
- 105 端面

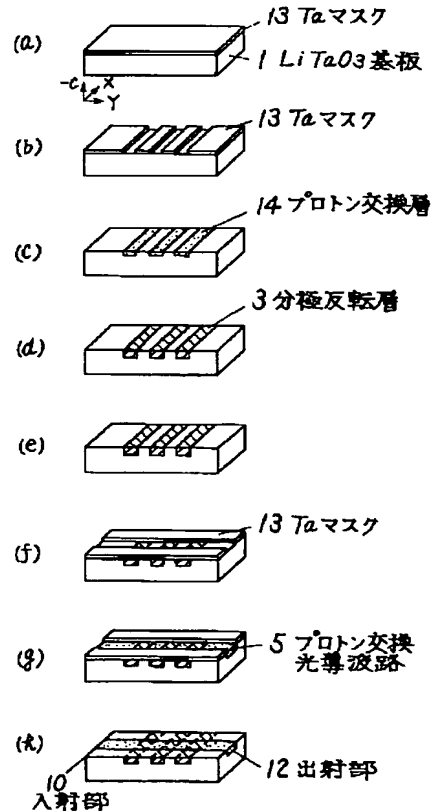
【図1】



【図5】

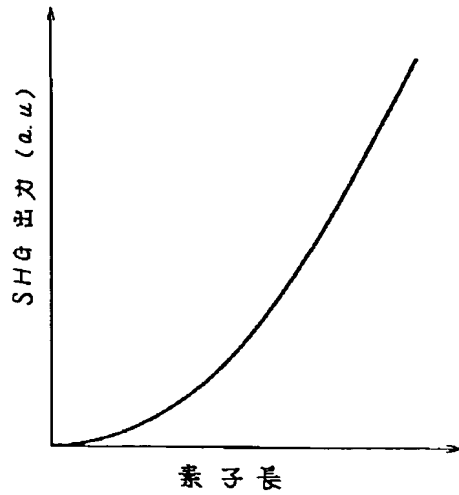


【図2】

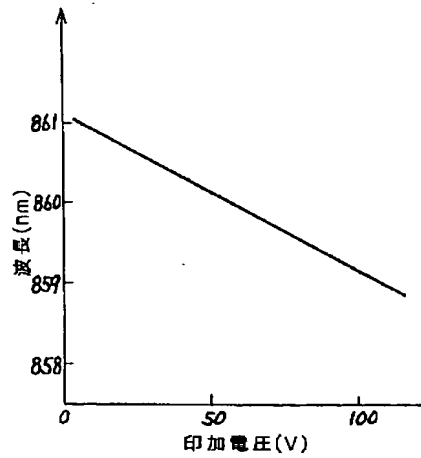




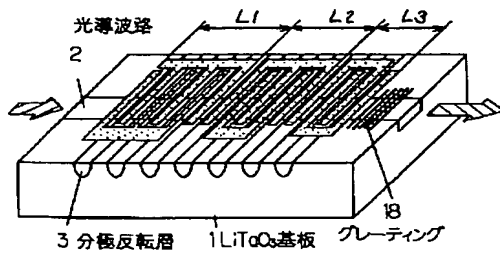
【図3】



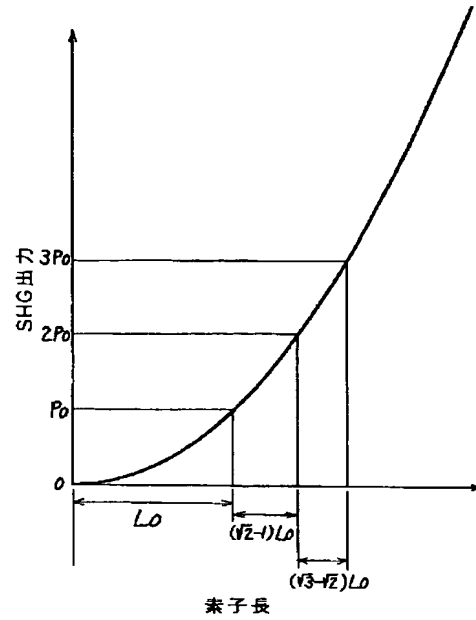
【図7】



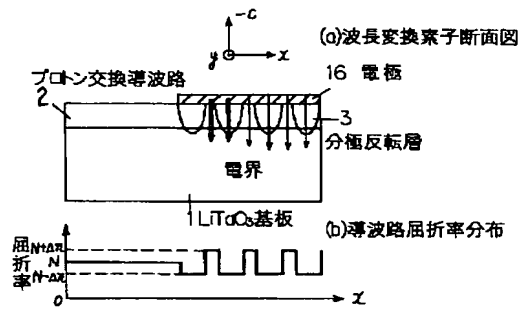
【図9】



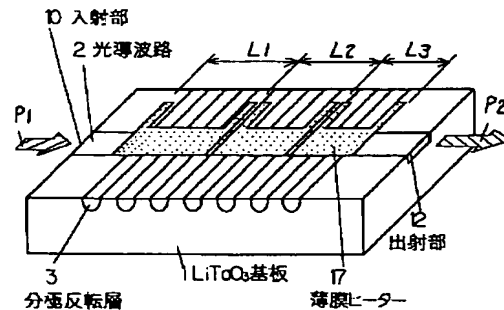
【図6】



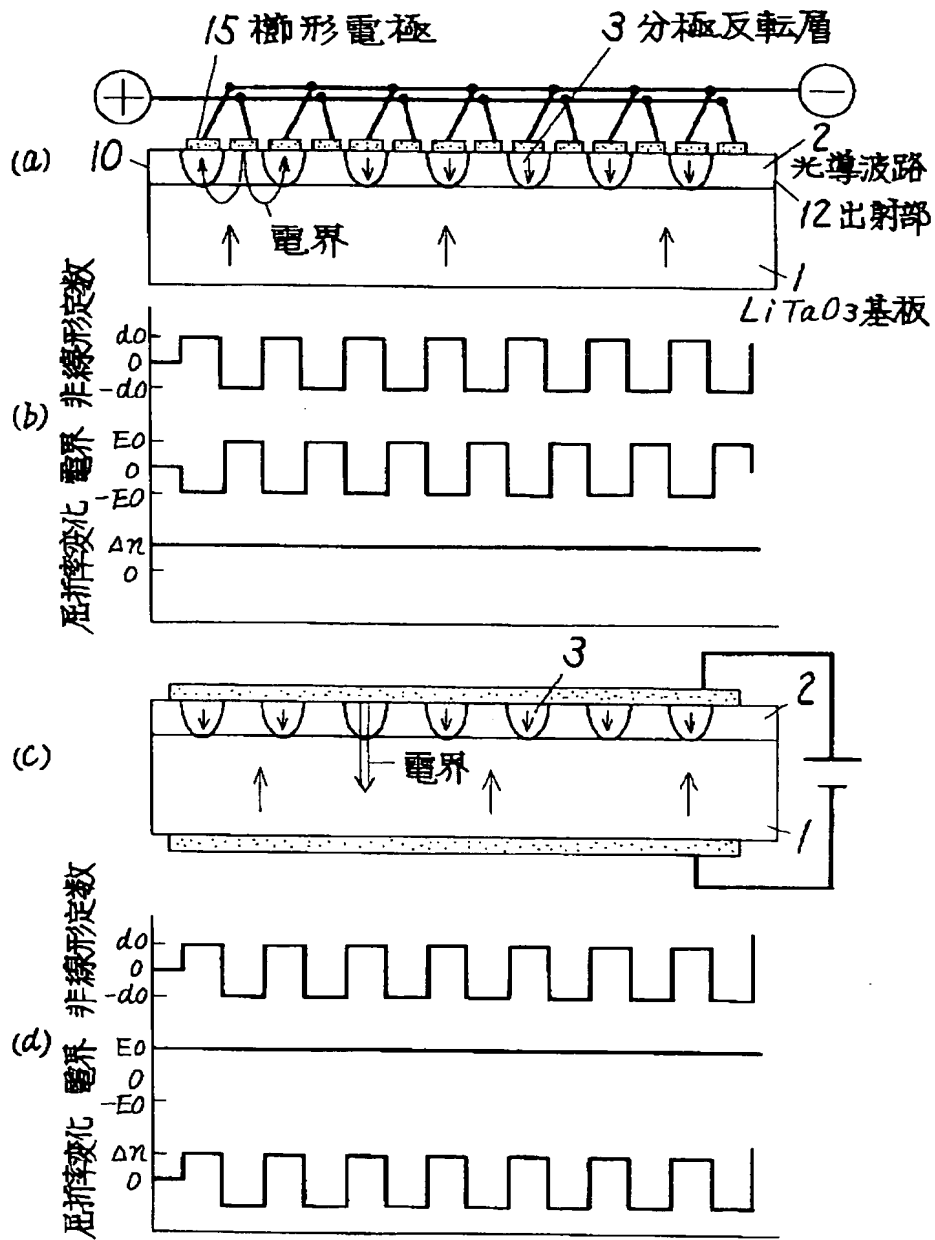
【図8】



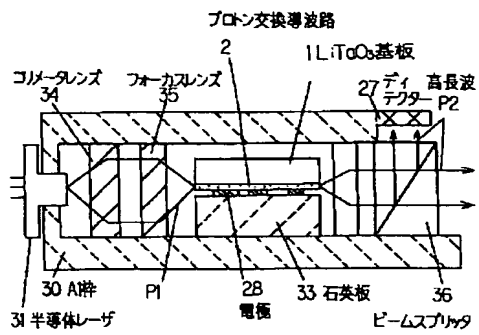
【図10】



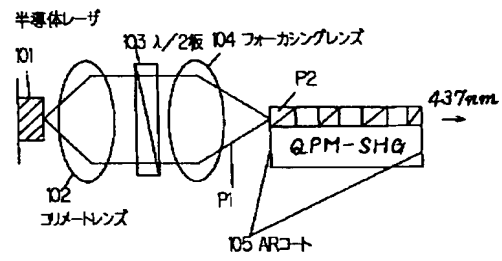
【図4】



【図11】



【図12】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**